

(54) [Title of the Invention] IMMERSION ALIGNEREXPOSURE APPARATUS

(57) [Abstract]

[Problem] To provide an immersion alignerexposure apparatus that does not cause the degradation of its image forming performance.

[Solution] An immersion alignerexposure apparatus has a projection optical system PL for transfer-printingexposure-transferring of a pattern Pa, written on a reticle R, onto a wafer W. In the immersion alignerexposure apparatus, at least part of working distance L between the wafer and the lens surface Pe closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid LQ through which exposure light IL passes. The immersion alignerexposure apparatus is so constructed that the working distance will meet the following relation:  $L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$ , where L is the length of the working distance,  $\lambda$  is the wavelength of the exposure light IL, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid LQ. In addition, pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water is used as the liquid LQ.

## [Claims]

[Claim 1] An immersion alignerexposure apparatus, which has a projection optical system for transfer-printingexposure transferring of a pattern, written on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion alignerexposure apparatus characterized in that the working distance will meet the following relation:

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|),$$

where L is the length of the working distance,  $\lambda$  is the wavelength of the exposure light IL, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid LQ.

[Claim 2] An immersion alignerexposure apparatus, which has a projection optical system for transfer-printingexposure-transferring of a pattern, written on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion alignerexposure apparatus characterized in that pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water is used as the liquid.

[Claim 3] The immersion alignerexposure apparatus according

to claim 1 or 2, wherein the length L of the working distance is 2 mm or less.

[Claim 4] The immersion alignerexposure apparatus according to claim 1, 2, or 3, wherein the reticle and the wafer are so arranged that they can be scanned synchronously at a constant speed with a speed ratio corresponding to the magnification of the projection optical system.

[Claim 5] The immersion alignerexposure apparatus according to claim 1, 2, 3, or 4, wherein light in the ultraviolet band is used as the exposure light.

[Claim 6] The immersion alignerexposure apparatus according to claim 1, 2, 3, 4 or 5, wherein the optical surface of the front optical element closest to the wafer side in the projection optical system is formed flat, the lower end face of a lens barrel holding the front optical element is formed flush with the optical surface, and the outer circumferential face at the lower end of the lens barrel is chamfered.

[Claim 7] The immersion alignerexposure apparatus according to claim 6, wherein the front optical element is a parallel flat plate.

[Claim 8] The immersion alignerexposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a holder table, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the holder table so that the liquid can be filled in the working distance, a liquid supply unit is provided inside the holder table so that the liquid can

be supplied and recovered, and thermoregulators are provided in both the holder table and the liquid supply unit.

[Claim 9] The immersion alignerexposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a wafer chuck, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the wafer chuck so that the liquid can be filled in the working distance, at least three pins are provided through the wafer chuck, and an elevation driving device is provided to enable the pins to lift up the wafer from the wafer chuck.

[Claim 10] The immersion alignerexposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a wafer chuck, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the wafer chuck so that the liquid can be filled in the working distance, at least three pins are provided through the wafer chuck, and an elevation driving device is so provided that the upper end of the wall of the wafer chuck can be lower than the lower end of the projection optical system.

[Claim 11] The immersion alignerexposure apparatus according to any one of claims 1 through 10, wherein a liquid sealing door is provided in a portion of the wall to freely open or close in order to avoid interference with the lower end part of the projection optical system.

[Claim 12] The immersion alignerexposure apparatus according to any one of claims 1 through 11, wherein a

mirror for an interferometer is attached to the side face of the projection optical system, and protection means is provided for separating a light beam incident on and reflected from the mirror from vapor generated from the liquid.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to an alignerexposure apparatus for printing a pattern, written on a reticle, onto a wafer through a projection optical system, and particularly to an immersion alignerexposure apparatus.

[0002]

[Description of the Prior Art] Spacingclearance between the last or front lens surface of an optical system and an image surface is called working distance. The working distance of a projection optical system in the conventional alignerexposure apparatus or exposure apparatus is filled with air. It is common practice to take a working distance of 10mm or more for some reason such as to include an autofocus optical system. On the other hand, with ever increasing demand for finer patterns to be transferred to a wafer, it is necessary to make the exposure wavelength shorter or increase the numerical aperture. However, since there are restrictions on the types of glass materials that allow light having a short wavelength to pass through, immersion type alignerexposure apparatus have been proposed

in which the working distance is filled with a liquid to increase the numerical aperture and hence make the exposed pattern finer.

[0003] The immersion type aligner exposure apparatus could cause an uneven distribution of refractive indexes due to a temperature distribution of the liquid interposed in the working distance. Therefore, the following techniques have been proposed as measures against the degradation of image forming performance caused by liquid temperature changes: namely, (A) a technique for stabilizing temperature through a liquid temperature stabilizing mechanism as disclosed in FIG. 3 of US Patent No. 4,346,164, or for making temperature uniform using a vibration-agitator mechanism as disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 06-124873; and (B) a technique, as also disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 6-124873, for measuring the temperature or refractive index of the liquid using a liquid temperature monitoring mechanism to feed it back for temperature control.

[0004]

[Problem to be Solved by the Invention] However, since there has been no discussion regarding the degree of temperature stabilization from a practical perspective to implement the technique (A), this technique actually requires high accuracy of temperature control, as will be described below, which is far from practical. On the other hand, it is also hard to say that the technique (B) is effective because what most affects the image forming

performance is the unevenness of temperature. Thus, no conventional techniques for immersion alignerexposure apparatus make direct reference to the restrictions on the optical parameters of the projection optical system such as the working distance, and the immersion technology hardly allows for its peculiarities at present. It is therefore an object of the present invention to provide an immersion alignerexposure apparatus, which makes it easy to control the temperature of a liquid filled in the working distance to prevent the degradation of image forming performance.

[0005]

[Means for Solving the Problem] The present invention has been made to solve the above-mentioned problem, that is, to provide an immersion alignerexposure apparatus, which has a projection optical system for transfer-printingexposure-transferring of a pattern, written on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion alignerexposure apparatus characterized in that the working distance meets the following relation:

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$$

where L is the length of the working distance,  $\lambda$  is the wavelength of the exposure light, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid. The immersion alignerexposure apparatus is also

characterized in that the liquid used is pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water.

[0006] The following describes the operation of the present invention. If the distance from the glass surface at the tip end of the projection optical system to an imaging plane, that is, if the working distance is  $L$ , the width of a temperature distribution of the medium filled in the working distance  $L$  is  $\Delta T$ , the aberration of the imaging wavefront caused by the temperature distribution  $\Delta T$  is  $\Delta F$ , and the temperature coefficient of the refractive index of the liquid is  $N$ , the following expression (1) is approximately established:

$$\Delta F = L \times |N| \times \Delta T \quad \dots(1)$$

[0007] It is assumed that a temperature distribution of about  $0.01^\circ\text{C}$  exists in the temperature distribution  $\Delta T$  of the medium even though temperature is controlled by all means in order to keep it uniform. Therefore, at least the following imaging wavefront aberration  $\Delta F$  is considered to exist:

$$\Delta F = L \times |N| \times 0.01^\circ\text{C} \quad \dots(1a)$$

where  $N$  is a value representing the temperature coefficient of the refractive index in a unit of  $1/^\circ\text{C}$ .

[0008] The value  $N$  of the temperature coefficient of the refractive index varies greatly between liquid and air. For example, for air,  $N = -9 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ , and for water,  $N = 8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ,



that is, the difference is almost 100 times. In general, the working distance  $L$  of a projection optical system in a reduction projection aligner exposure apparatus is  $L > 10$  nm. Even if  $L = 10$  nm, the imaging wavefront aberration  $\Delta F$  becomes as follows:

For air,  $\Delta F = 10 \text{ mm} \times |-9 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}| \times 0.01 / ^\circ\text{C} = 0.09$  nm

For water,  $\Delta F = 10 \text{ mm} \times |-8 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}| \times 0.01 / ^\circ\text{C} = 8.0$  nm

[0009] Therefore, it is preferable that the imaging wavefront aberration  $\Delta F$  be generally equal to or less than  $1/30$  of the exposure wavelength  $\lambda$ , that is, it should meet the following relation:

$$\Delta F \leq \lambda / 30 \quad \dots(2)$$

For example, when an ArF excimer laser having a wavelength of 193 nm is used as the exposure light,  $\Delta F < 6.4$  nm is desirable. In the case of using water as the medium filled in the working distance, if the working distance  $L$  is  $L > 10$  mm as in the conventional, the generation of imaging wavefront aberration due to the temperature distribution of the medium is too much, resulting in practical difficulties.

[0010] From the expressions (1a) and (2), the following expression is obtained:

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|) \quad \dots(3)$$

Therefore, if the expression (3) is satisfied, an immersion aligner exposure apparatus equipped with a projection optical system that reduces the wavefront aberration caused by the temperature distribution in the immersion liquid to  $1/30$  or less of the exposure wavelength under the

conditions of feasible temperature stability (temperature distribution) can be obtained. As described above, according to the present invention, an upper limit is set on the length of an optical path to mitigate the requirements for a temperature distribution by paying attention to the fact that the amount of wavefront aberration generated when the exposure light passes through the medium having the temperature distribution depends on the product of the amount of temperature distribution and the length of the optical path in the medium. This makes it possible to put an immersion alignerexposure apparatus to practical use at a feasible level of temperature control of the immersion liquid.

[0011]

[Embodiments of the Invention] The following describes some preferred embodiments of the present invention.

[0012]

[Description of First Embodiment] FIG. 1 shows the overall structure of a projection exposure apparatus or alignerexposure apparatus, according to a first embodiment of the present invention. Here, the projection alignerexposure apparatus is a lens-scanning type projection alignerexposure apparatus, which scans a reticle R and a semiconductor wafer W relative to a reduction projection lens system PL while projecting a circuit pattern on the reticle R to the wafer W through the projection lens system PL having circular image fields

telecentrically formed on both the object side and the image side. In FIG. 1, an illumination system 10 includes an ArF excimer-laser light source (not shown) emitting pulsed light having a wavelength of 193 nm, a beam expander (not shown) for shaping the cross section of the pulsed light from the light source, an optical integrator (not shown) such as a fly-eye lens for producing a secondary light-source image (a collection of plural point sources) from the shaped pulsed light incident on it, a condenser lens system (not shown) for turning the pulsed light from the secondary light-source image into pulsed illumination light having a uniform luminance distribution, a reticle blind (illumination field stop, not shown) for shaping the pulsed illumination light into a rectangular shape elongated in a direction (X direction) perpendicular to the scanning direction (Y direction) during scanning exposure, and a relay optical system (not shown) that cooperates with a condenser lens system 12 and a mirror 14 shown in FIG. 1 to focus the pulsed light IL from the rectangular opening of the reticle blind on an illuminated area AI of a slit or rectangular shape on the reticle R.

[0013] The reticle R is held by vacuum suction (otherwise, by electrostatic suction or machine-rivetingmechanical-fastening) on a reticle stage 16 capable of moving with a large stroke in a one-dimensional direction at a constant speed during scanning exposure. In FIG. 1, the reticle stage 16 is guided to move from side to side (in the Y

direction in FIG. 1) on a column structure 19 of the apparatus body, while it is also guided to move in a direction (X direction) perpendicular to the paper surface of FIG. 1. The coordinate position and minute amount of rotation of the reticle stage 16 on the XY plane are measured sequentially by a laser interferometer system 17 projecting a laser beam to a moving mirror (plane mirror or corner mirror) MRr attached to a portion of the reticle stage 16 and receiving a reflected beam from the moving mirror MRr. Then, a reticle stage controller 20 controls a motor 18, such as a linear motor or voice coil motor, for driving the reticle stage 16 based on the XY coordinate position measured by the interferometer system 17 to control the movement of the reticle stage 16 in both the scanning and non-scanning directions.

[0014] When part of the circuit pattern area on the reticle R is illuminated by the rectangular-shaped pulsed illumination light IL projected through the condenser lens system 12 and the mirror 14, an imaging beam from the pattern in the illuminated area AI is projected and focused on a photosensitive resist layer coated on the surface of the wafer W through the reduction projection lens system PL with a reduction ratio of 1/4. The projection lens system PL is so arranged that its optical axis AX passes through the central points of the circular image fields and is concentric with the optical axes of the illumination system 10 and the condenser lens system 12, respectively. The

projection lens system PL consists of a plurality of lens elements made of two types of glass materials, quartz and fluorite, having high transmittance with respect to ultraviolet light having a wavelength of 193 nm. Fluorite is used primarily to form lens elements having positive power. Further, the air in a lens barrel in which the plurality of lens elements of the projection lens system PL are retained is replaced with nitrogen gas to avoid the absorption by oxygen of the pulsed illumination light having the wavelength of 193nm. The nitrogen-gas replacement is also provided for the optical path from the inside of the illumination system 10 up to the condenser lens system 12 (or the mirror 14) in the same manner.

[0015] The wafer W is held on a holder table WH that draws the back side of the wafer W by suction. A wall LB is provided at a constant height around the entire perimeter of the holder table WH, and the liquid LQ is filled inside the wall LB up to a predetermined depth. The wafer W is held by vacuum suction in a depressed portion on the inner bottom of the holder table WH. Further, an annular auxiliary plate HRS is provided around the inner bottom of the holder table WH to surround the perimeter of the wafer W with a predetermined clearance width. The height of the surface of the auxiliary plate HRS is defined to be approximately equal to the height of the surface of a standard type of wafer W drawn by suction on the holder table WH.

[0016] The auxiliary plate HRS is primarily used as an alternative focus detection surface when the detection point of a focus-leveling sensor is located on the outside of the outer edge of the wafer W. The auxiliary plate HRS can also be used for calibration of an alignment sensor used for relative alignment between a shot area on the wafer W and the circuit pattern on the reticle R, and for calibration of the focus-leveling sensor used when the shot area is scanned and exposed. However, it is preferable to use a dedicated fiducial mark plate provided separately from the auxiliary plate HRS. In this case, the fiducial mark plate is also mounted on the holder table WH in an immersed state to have substantially the same height as the image projection surface of the projection lens system PL, so that the alignment sensor detects various fiducial marks formed on the fiducial mark plate in the immersed state. An example of methods for calibration of system offsets of the focus sensor using the fiducial mark plate on the table is disclosed, for example, in US Patent No. 4,650,983, and an example of calibration methods for various alignment sensors is disclosed, for example, in US Patent No. 5,243,195.

[0017] In the embodiment, as shown in FIG. 1, since the tip end of the projection lens system PL is immersed in the liquid LQ, the projection lens system PL is designed to render at least its tip end waterproof in order to prevent the liquid from leaking into the lens barrel. The lower

face (opposite face to the wafer W) of the front lens element of the projection lens system PL is machined in the shape of a flat surface or a convex surface having an extremely large curvature radius so that the liquid can flow smoothly between the lower face of the lens element and the surface of the wafer W during scanning exposure. Further, in the embodiment, the projection lens system PL is designed, as will be described in detail later, to form its best imaging plane (reticle conjugate plane) in the immersed state at a position about 2-1 mm from the lower face of the front lens element. Therefore, the thickness of the liquid layer formed between the lower face of the front lens element and the surface of the wafer W is also about 2-1 mm, so that not only can the accuracy of temperature control to adjust the temperature of the liquid LQ be relaxed, but an uneven temperature distribution in the liquid layer can also be prevented.

[0018] The holder table WH is mounted on an XY stage 34 in such a manner to enable translational movements (including rough and fine movements in the embodiment) in the Z direction along the optical axis AX of the projection lens PL and fine tilt movements with respect to the XY plane perpendicular to the optical axis AX. The XY stage 34 moves two-dimensionally in the X and Y directions on a base 30. The holder table WH is mounted on the XY stage 34 through three Z-actuators 32A, 32B, and 32C. Each of the actuators 32A-C is a mechanism consisting, for example, of a

combination of a piezoelastic element, a voice coil motor, a DC motor, and a lift cam. When the three Z-actuators are driven in the Z direction by the same amount, the holder table WH can be translated in parallel in the Z direction (focus direction), while when the three Z-actuators is driven in the Z direction by amounts different from one another, the tilt direction and amount of the holder table WH can be adjusted.

[0019] The two-dimensional movement of the XY stage 34 is caused by a drive motor 36, such as a DC motor for rotating a feed screw or a linear motor for generating thrust in a non-contact manner. The drive motor 36 is controlled by a wafer stage controller 35 receiving measured coordinate positions from a laser interferometer 33 for measuring each of X- and Y-positional changes of the reflection surface of a moving mirror MRw fixed to an edge portion of the holder table WH. The overall structure of the XY stage 34 using a linear motor as the drive motor 36 is disclosed, for example, in Japanese Patent Laid-Open No. 8-233964.

[0020] In the embodiment, since the working distance of the projection lens PL is so small that the liquid LQ will be filled in a narrow space of about 2-1 mm between the front lens element of the projection lens PL and the wafer W, it is difficult for an obliquely-incident type focus sensor to project a flood projection beam of light obliquely from above onto the wafer surface corresponding to the projection field of the projection lens system PL.



Therefore, in the embodiment, a focus alignment sensor FAD, including an off-axis type focus leveling detection system (having no focus detection point within the projection field of the projection lens system PL) and a mark detection system for detecting alignment marks on the wafer W in an off-axis manner, is arranged as shown in FIG. 1 around the lower end part of the lens barrel of the projection lens system PL.

[0021] The lower faces of an optical elements (lens, glass plate, prism, etc.) attached to the tip of the focus alignment sensor FAD are placed in the liquid LQ, and an alignment illumination beam and a focus detection beam are emitted from the optical elements to illuminate the surface of the wafer W (or the auxiliary plate HRS) through the liquid LQ. The focus leveling detection system outputs a focus signal Sf corresponding to an error in the position of the surface of the wafer W relative to the best imaging plane. The mark detection system analyzes a photoelectric signal corresponding to the optical characteristics of each mark on the wafer W to output an alignment signal Sa representing the XY position of the mark or the amount of displacement from the position.

[0022] The focus signal Sf and the alignment signal Sa are sent to a main controller 40. Based on the focus signal Sf, the main controller 40 sends the wafer stage controller 35 driving information best suited to each of the three Z-actuators 32A, B, C. The wafer stage controller 35 controls

each of the three Z-actuators 32A, B, C to make focus and tilt adjustments to an actually projected area on the wafer W.

[0023] The main controller 40 also manages the coordinate position of the XY stage 34 based on the alignment signal Sa to align the relative position of the reticle R and the wafer W. Further, when each shot area on the wafer W is scanned and exposed, the main controller 40 performs synchronous control of the reticle stage controller 20 and wafer stage controller 35 so that the reticle R and the wafer W will move in the Y direction at a constant speed with a speed ratio corresponding to the projection magnification of the projection lens system PL.

[0024] Note that, although the focus alignment sensor FAD is provided in FIG. 1 in one location around the tip end of the projection lens system PL, it is preferable that four focus alignment sensors FAD be provided, two in the Y direction and two in the X direction, across the tip end of the projection lens system PL. In addition, a TTR (Through-The-Reticle) type alignment sensor 45 is provided above the reticle R in FIG. 1 to detect alignment marks formed around at the periphery of the reticle R and alignment marks on the wafer W (or fiducial marks on the fiducial mark plate) simultaneously through the projection lens system PL and hence to measure the displacement between the reticle R and the wafer W with a high degree of precision. A measured displacement signal is then sent from the TTR alignment

sensor 45 to the main controller 40 for use in positioning the reticle stage 16 and the XY stage 34.

[0025] The exposure apparatus or aligner in FIG. 1 performs scanning exposure while moving the XY stage 34 in the Y direction at a constant speed. The following describes the schedule of scan and step movements of the reticle R and the wafer W during the scanning exposure with reference to FIG. 2. In FIG. 2, a front lens group system LGa and a rear lens group system LGb are representative of the projection lens system PL in FIG. 1, and a projection pupil Ep of the projection lens system PL exists between the front lens group system LGa and the rear lens group system LGb. On the reticle R shown in FIG. 2, a circuit pattern area Pa having a diagonal length longer than the diameter of the circular image field on the object side of the projection lens system PL is formed on the inside of a light-shielding zone SB.

[0026] The area Pa on the reticle R is scanned and exposed to a corresponding shot area SAa on the wafer W by scan-moving the reticle R, for example, in a negative direction along the Y axis at a constant speed Vr while scan-moving the wafer W in a positive direction along the Y axis at a constant speed Vw. In this case, as shown in FIG. 2, the area AI of the pulsed illumination light IL illuminating the reticle R is formed in the shape of a slit or rectangle elongated in parallel with the X direction in the area Pa, with both ends in the X direction located on the light-

shielding zone SB.

[0027] A part of the pattern included in the pulsed light illuminated area AI inside the area Pa on the reticle R is formed as an image SI in a corresponding position inside the shot area SAa on the wafer W through the projection lens system PL (the lens systems LGa, LGb). After completion of relative scanning of the pattern area Pa on the reticle R and the shot area SAa on the wafer W, the wafer W is step-moved by a given amount in the Y direction so that it will come to a scanning start position, for example, to a shot area SAb next to the shot area SAa. During this step-movement, the emission of the pulsed illumination light IL is interrupted. Then, the reticle R is moved in the positive direction along the Y axis with respect to the pulsed light illuminated area AI at the constant speed Vr so that another the pattern image in the area Pa on the reticle R will be scanned and exposed to the corresponding shot area SAb on the wafer W while moving the wafer W in the negative direction along the Y axis with respect to the projected image SI at the constant speed Vw, thereby forming an electronic circuit pattern image on the shot area SAb. An example of techniques using pulsed light from an excimer-laser light source for scanning exposure is disclosed, for example, in US Patent No. 4,924,257.

[0028] In the projection alignerexposure apparatus shown in FIGS. 1 and 2, when the diagonal length of the circuit pattern area on the reticle R is smaller than the diameter

of the circular image field of the projection lens system PL, the opening shape or size of the reticle blind in the illumination system 10 can be so changed that the shape of the illuminated area AI will coincide with that of the circuit pattern area, enabling the use of the apparatus of FIG. 1 as a step-and-repeat stepper. In this case, the reticle stage 16 and the XY stage 34 stay still relative to each other during exposure of the shot area on the wafer W. However, if the wafer W moves slightly during the exposure, the slight movement can be measured by the laser interferometer system 33. The reticle stage 16 is controlled and moved slightly in order to perform a tracking correction on the reticle R side so that to control the reticle R side to move the reticle stage 16 slightly in order to compensate for the slight displacement of the wafer W with respect to the projection lens system PL is compensated. Further, when the shape or size of the reticle blind is changed, a zoom lens system may be so provided that the pulsed light coming from the light source and reaching the reticle blind will converge on a region corresponding to the adjusted opening size in response to the change in the shape or size of the reticle blind.

[0029] As apparent from FIG. 2, since the area of the projected image SI is assumed to have a slit or rectangular shape elongated in the X direction, the embodiment is configured to make the tilt adjustment during scanning exposure exclusively in a rotational direction around the Y

axis, that is, only the rolling direction with respect to the direction of scanning exposure. Of course, if the width of the area of the projected image SI in the scanning direction is large enough to require consideration of the flatness of the wafer surface in the scanning direction, the tilt adjustment will be made in a rotational direction around the X axis, that is, the pitching direction, during scanning exposure.

[0030] The state of the liquid LQ in the holder table WH that is a characteristic feature of the aligner exposure apparatus according to the embodiment will be described below with reference to FIG. 3. FIG. 3 is a partially sectional view from the tip end of the projection lens system PL to the holder table WH. A positive lens element LE1 whose lower face Pe is flat and upper face is convex is fixed at the tip of the projection lens system PL inside the lens barrel. The lower face Pe of the lens element LE1 is so finished that the lower face Pe will be flush with the end face of the tip end of the metallic part of the lens barrel (flush surface finishing), preventing the flow of the liquid LQ from becoming turbulent. An outer corner portion 114, which is a portion to be immersed in the liquid LQ at the tip end of the lens barrel of the projection lens system PL, is chamfered, for example, to have a large curvature as shown in FIG. 3, in order to reduce resistance against the flow of the liquid LQ and hence to prevent the generation of an unnecessary vortex or

turbulent flow. Further, a plurality of protruding suction faces 113 are formed in a central portion of the inner bottom of the holder table WH to draw the back face of the wafer W by vacuum suction. Specifically, these suction faces 113 assume the shape of an annular zone consisting of a plurality of annular land portions having about 1 mm in height and concentrically formed with a predetermined pitch in the direction of the radius of the wafer W. Then, a groove is cut at the center of each of the annular land portions, and each of the grooves is connected to piping 112 inside the table WH, and to a vacuum source for vacuum suction.

[0031] In the embodiment, as shown in FIG. 3, the spacing or distance L between the lower face Pe of the lens element LE1 at the tip end of the projection lens system PL and the surface of the wafer W (or the auxiliary plate HRS) is set in the range of about 2-1 mm for the best focus state. Therefore, the depth Hq of the liquid LQ to be filled in the holder table WH can be just two, three, or more times the distance L, and hence the height of the wall LB provided around the holder table WH can be just several to ten mm. Thus, in the embodiment, since the distance L as the working distance of the projection lens system PL is set very small, the total amount of liquid LQ to be filled in the holder table WH can be reduced, thereby making temperature control easy.

[0032] In the embodiment, pure water easy to obtain and

handle is used for the liquid LQ. However, note that a slight percentage of aliphatic additive (liquid), which does not dissolve the resist layer of the wafer W and the influence of which on the optical coating of the lower face Pe of the lens element can be ignored, is added to the pure water to not only reduce the surface tension of the pure water but to enhance the interface activity of the pure water. Methyl alcohol or the like having a refractive index approximately equal to that of the pure water is preferably used as the additive. In such a case, even if the methyl alcohol component in the pure water evaporates to vary its concentration, the total change in the refractive index of the liquid LQ can be minimized.

[0033] The temperature of the liquid LQ is controlled for a target temperature with a constant degree of accuracy. The accuracy of controlling temperature in a relatively easy manner at present is about  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ . Based on such temperature-control accuracy, the following considers a realistic immersion projection method. In general, the temperature coefficient  $N_a$  of the refractive index of air is about  $-9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ , while the temperature coefficient  $N_q$  of the refractive index of water is about  $-8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ . In other words, the temperature coefficient  $N_q$  of the refractive index of water is about two orders of magnitude larger than that of air. On the other hand, if the working distance is L, the amount of imaging wavefront aberration  $\Delta F$  caused by the amount of temperature change (temperature unevenness)



$\Delta T$  in the medium filled in the working distance  $L$  is approximately represented as follows:

$$\Delta F = L \cdot |N| \cdot \Delta T$$

[0034] Here, if normal projection exposure is carried out without the application of an immersion projection method, the amount of wavefront aberration  $\Delta F_{\text{air}}$  under such conditions that the working distance  $L$  is 10mm and the amount of temperature change  $\Delta T$  is 0.01°C is as follows:

$$\Delta F_{\text{air}} = L \cdot |N_{\text{a}}| \cdot \Delta T \approx 0.09 \text{ nm}$$

On the other hand, the amount of wavefront aberration  $\Delta F_{\text{lg}}$  in the case of applying the immersion projection method is as follows:

$$\Delta F_{\text{lg}} = L \cdot |N_{\text{g}}| \cdot \Delta T \approx 8 \text{ nm}$$

[0035] In general, it is desirable that the amount of wavefront aberration be about 1/30 through 1/50-1/100 of the wavelength  $\lambda$  used. Therefore, in the case of using the ArF excimer laser, the maximum allowable amount of wavefront aberration  $\Delta F_{\text{max}}$  is defined in the range of 6.43 through 3.86-1.93 nm corresponding to 1/30 through 1/50-1/100 of the wavelength  $\lambda$  generally used, and preferably 1.93 nm or below at 1/100 of the wavelength  $\lambda$ . The heat conductivities of air and water at 0°C are 0.0241 W/mK and 0.561 W/mK, respectively. In other words, water is better heat conductor than air, so that the temperature unevenness in the optical path formed in the water can be reduced compared to that in the air, thereby reducing the fluctuation in the refractive index in the liquid. However,

as shown in the expression (3), if the working distance  $L$  is about 10 mm, the amount of wavefront aberration  $\Delta F_{LQ}$  generated is far beyond the allowable amount of wavefront aberration  $\Delta F_{\max}$  even if the amount of temperature change  $\Delta T$  is  $0.01^\circ\text{C}$ .

[0036] It follows from the above consideration that the relationship between the amount of temperature change  $\Delta T$  after taking into account the amount of allowable wavefront aberration  $\Delta F_{\max}$  and the working distance  $L$  is from  $\Delta F_{\max} = \lambda / 30 \geq L \cdot |N_q| \cdot \Delta T$  to  $\Delta F_{\max} = \lambda / 100 \geq L \cdot |N_q| \cdot \Delta T$ . Assuming that the amount of temperature change  $\Delta T$  is  $0.01^\circ\text{C}$ , the wavelength  $\lambda$  is 193nm, and the amount of change  $N_q$  in the refractive index of the liquid LQ is  $-8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ , the required working distance (thickness of the liquid layer)  $L$  is from 8 mm to 2.4 mm or less. It is desirable that the working distance  $L$  be smaller than 2 mm as long as the liquid LQ flows smoothly in the working distance  $L$ . Since the embodiment is configured as mentioned above, not only can the temperature control of the liquid LQ be made easy, but the degradation of the projected image induced by a change in wavefront aberration due to a temperature change in the liquid layer can also be prevented, making possible projection exposure of a pattern on the reticle R with an extremely high resolution.

[0037]

[Description of Second Embodiment] Referring next to FIG. 4, a second embodiment of the present invention will be

described. This embodiment shows a temperature control method for the liquid LQ, which is also applicable to the first embodiment, and a method of dealing with the liquid LQ at the time of changing the wafer W. Therefore, components in FIG. 4 common to those in FIGS. 1 and 3 are given the same reference numerals and symbols. In FIG. 4, a plurality of suction faces 113 are formed in a wafer loading portion as a circular depressed portion on the inner bottom of the holder table WH. Then an annular groove 51 used for supply and discharge of the liquid LQ is formed around the circular wafer loading portion. Part of the groove 51 communicates with an external pipe 53 through a passage 52 formed inside the table WH. Further, thermoregulators 50A, 50B such as Peltier elements are embedded directly below the wafer loading portion and the auxiliary plate HRS inside the holder table WH, and temperature sensors are placed in position (preferably at plural positions) on the holder table WH to detect the temperature of the liquid LQ precisely. The thermoregulators 50A, 50B are controlled by a controller 60 in such a manner that the temperature of the liquid LQ detected by the temperature sensors 55 will be kept at a fixed constant value.

[0038] On the other hand, the pipe 53 is connected to a liquid supply unit 64 and a drainage pump 66 through a selector valve 62. The selector valve 62 switches over between a flow path for supplying the liquid LQ from the

liquid supply unit 64 to the pipe 53 and a flow path for returning the liquid LQ from the pipe 53 to the supply unit 64 through the drainage pump 66 in response to an instruction from the controller 60. Inside the supply unit 64, a reserve tank (not shown) capable of reserving the total amount of liquid LQ on the holder table WH, a pump 64A for supplying the liquid LQ from the tank, and a temperature controller 64B for keeping the liquid LQ in the tank including the pump 64A at a constant temperature are provided. In the above-mentioned structure, the operation of the valve 62, the pump 64A, the temperature controller 64B, and the drainage pump 66 are centrally controlled by the controller 60.

[0039] In such a structure, when the wafer W is fed carried to the wafer loading portion of the holder table WH and loaded on the plural suction faces 113 in a pre-aligned state, the wafer is fixed under a reduced pressure through the vacuum suction piping 112 shown in FIG. 3. During this operation, the thermoregulators 50A, 50B continue to be controlled at a target temperature. Then, upon completion of vacuum suction of the wafer W, the selector valve 62 is moved from a closed position to the supply unit 64 side to actuate the pump 64A to fill the temperature-controlled liquid LQ to the inside of the wall LB of the holder table WH by a given amount through the pipe 53, the passage 52, and the groove 51. After that, the selector valve 62 returns to the closed position. Once the exposure of the

wafer W is completed, the selector valve 62 is moved from the closed position to the drainage pump 66 side to actuate the drainage pump 66 to return the liquid LQ on the table WH to the reserve tank in the supply unit 64 through the groove 51 and the pipe 53. The temperature of the liquid LQ returned to the tank is controlled precisely by the temperature controller 64B based on a detection signal from a temperature sensor provided in the reserve tank until the next wafer is ready.

[0040] Thus, according to the embodiment, the temperature of the liquid LQ during immersion exposure is controlled by the thermoregulators 50A, 50B in the holder table WH, while the liquid LQ is recovered into the supply unit 64 during wafer change so that the temperature of the liquid LQ will be controlled in the supply unit 64. This structure has the advantages of making possible wafer change in air and preventing a big temperature change in the liquid LQ.

Further, according to the embodiment, even if the temperature of the liquid LQ filled in the holder table WH after wafer change is deviated slightly (e.g., about 0.5°C) from a set temperature, it can reach the set temperature in a relatively short time because the depth of the liquid layer  $H_q$  (see FIG. 3) is shallow on the whole, thereby also making it possible to reduce the waiting time until the temperature is stabilized.

[0041]

[Description of Third Embodiment] Referring next to FIG. 5,

a third embodiment will be described. FIG. 5 shows a partial cross section of a holder table WH improved from that of FIG. 3. The holder table WH in this embodiment is divided into two parts, namely a wafer chuck 90 for holding the wafer W and a ZL stage 82 moving in the Z direction for focus leveling and performing tilt movement, in which wafer chuck 90 is placed on the ZL stage 82. The ZL stage 82 is provided on the XY stage 34 through three z actuators 32A, 32C (32B not shown). Like in FIGS. 1, 3, and 4, the wall LB, the auxiliary plate HRS, the piping 112 for vacuum suction, and passages 53A, 53B communicating with the pipe 53 for supply and discharge of the liquid LQ (see FIG. 4) are formed in the chuck 90, respectively. Note here that the passage 53A communicates with the peripheral part of the auxiliary plate HRS inside the wafer chuck 90, while the passage 53B communicates with the downmost part of the wafer loading portion on the inner bottom of the wafer chuck 90. Thus, since the passages for discharging and filling the liquid are formed at two or more positions, it can be quick to take in or out the liquid.

[0042] Further, in the embodiment, three through-holes (only two of them shown) 91 are formed in the central portion of the chuck 90, and three center-up pins (only two of them shown) 83 moving up and down through the through-holes 91, respectively, are provided on a vertically movement driving mechanism 85. The vertically movement driving mechanism 85 is fixed on the side of the XY stage

34. The three center-up pins 83 are to lift up or down the wafer W on the chuck 90 by a given amount from or onto the loading surface during wafer change. When the wafer W is held on the loading surface of the chuck 90 by vacuum suction as shown in FIG. 5, the tip end of each of the center-up pins 83 is located in a position lower than the loading surface of the chuck 90.

[0043] On the other hand, a parallel flat plate CG made of quartz silica glass and fixed perpendicularly to the optical axis AX is attached to the tip end of a sub lens-barrel 80 provided in the tip end of the projection lens system PL used in the embodiment so that the front lens element LE1 (plano-convex lens) will not be immersed in the liquid LQ. In the embodiment, the spacing or distance between the lower face of the parallel flat plate CG and the surface of the wafer W becomes a nominal working distance and is set to 2 mm or less like in the aforementioned embodiments. The attaching surface of the parallel flat plate CG to the sub lens-barrel 80 is waterproofed and nitrogen gas is filled in the sub lens-barrel 80.

[0044] Thus, since the parallel flat plate CG is provided at the tip end of the projection lens system PL, even if the substantial backfocus distance (distance from the front optical element having refractive power to the imaging plane) of the projection lens system PL is about 10 to 15 mm, the working distance L can easily be set to about 1 to

2 mm, enabling the implementation of an immersion projection method with reduced influence of temperature changes in the liquid. Further, the parallel flat plate CG can be retrofitted, part of the surface of the parallel flat plate CG can be polished on the order of a fraction of the wavelength, thus making it easy to correct local slight distortion (or random distortion) in the projected image. In other words, the parallel flat plate CG has both a function as a window to protect the front lens element located at the tip end of the projection lens system PL and a function as a distortion correcting plate. From another point of view, it can be said that the image forming performance of the projection lens system PL including the parallel flat plate CG is certified, that is, the parallel flat plate CG remains is consistently a front lens element located at the tip end of the projection lens system PL.

[0045]

[Description of Fourth Embodiment] Referring next to FIG. 6, a fourth embodiment will be described. This embodiment is related to the embodiment shown in FIG. 5 regarding wafer change when the projection optical system having an extremely small working distance is used for an immersion type projection exposure method. In FIG. 6, a reference mirror ML (for X and Y directions) receiving and reflecting a reference beam BSr from the laser interferometer 33 shown in FIG. 1 is fixed in the lower end portion of the lens barrel of the projection lens system PL. In operation, a



length measuring beam BSm from the laser interferometer 33 is projected to a moving mirror MRw fixed to an edge portion of the ZL stage 82 as shown in FIG. 5, and the reflected beam is returned to the laser interferometer 33 so that it will interfere with the reflected beam of the reference beam BSr, thereby measuring the coordinate position of the reflection surface of the moving mirror MRw, that is, the XY coordinate position of the wafer W with reference to the position of the reference mirror ML. In the embodiment, the ZL stage 82 is also mounted on the XY stage 34 through the three Z actuators 32A, 32B (32C not shown) in such a manner that it can move in the Z direction and the tilt direction. Note here that the ZL stage 82 is coupled to the XY stage 34 through leaf springs 84A, 84B (84C not shown) provided at three positions around its perimeter so that it will be supported with extremely high rigidity in the horizontal direction (on the XY plane) with respect to the XY stage 34.

[0046] In the embodiment, the wafer chuck 90 like in FIG. 5 is also provided on the ZL stage 82. A point different from FIG. 5 is that the wafer chuck 90 is configured to move in the Z direction relative to the ZL stage 82 with a relatively large stroke (about 10 to 15 mm) by means of a plurality of Z-direction driving mechanisms 88A, 88B. Unlike the Z actuators 32A, B, C for focus leveling, the driving mechanisms 88A, 88B have only to move the wafer chuck 90 between both ends of the stroke. Therefore, they

can be configured to have a simple elevation function using an air cylinder or link mechanism. Further, in the embodiment of FIG. 6, the center-up pins 83 shown in FIG. 5 are fixed on the XY stage 34 without up and down movement. Then, as shown in FIG. 6, when the wafer chuck 90 is lifted to its upmost position, the surface of the wafer W is located 1 to 2 mm from the surface of the front optical element of the projection lens system PL and the end face of each of the center-up pins 83 is slightly (about 2 to 3 mm) lower than the wafer loading face of the wafer chuck 90. [0047] FIG. 6 shows the above-mentioned structure in a state during exposure of the wafer W. After completion of the exposure operation, the liquid LQ is temporarily discharged from the wafer chuck 90 in the manner as shown in FIG. 4. Then, once the vacuum suction of the wafer chuck 90 is released, the driving mechanisms 88A, 88B are actuated to lift down the wafer chuck 90 from the position in FIG. 6 to its downmost position. This causes the wafer W to be reloaded on the tip end faces of the three center-up pins 83 while positioning the upper end face of the wall LB around the wafer chuck 90 to be lower than the front end surface of the projection lens system PL (the lower face Pe of the lens element LE1 in FIG. 3 or the lower face of the parallel flat plate CG in FIG. 5). In this state, if the XY stage 34 is moved to a wafer change position, the wafer W is drawn out from the position directly below the projection lens system PL and moved toward a transport arm

95. At this time, since the arm 95 is set to be higher than the upper end face of the wall LB of the wafer chuck 90 and lower than the wafer W on the center-up pins 83, it gets into the downside of the wafer W. Then, the arm 90 transports the wafer W toward a predetermined unload position while lifting the wafer W slightly up under vacuum suction. The way of carrying in the wafer W is exactly opposite to the above-mentioned sequence.

[0048] As shown in FIG. 6, when the structure is of the type in which the laser interferometer 33 projects the reference beam BSr to the reference mirror ML for the projection lens system PL, since a pool of liquid LQ spreads out intoover the space directly below the optical path of the reference beam BSr, it is considered that a rise of saturated vapor could cause fluctuation in the optical path of the reference beam BSr. Therefore, in the embodiment, a cover plate 87 is arranged between the optical path of the reference beam BSr and the liquid LQ to block the flow of the rising vapor in order to prevent the fluctuation in the optical path of the reference beam BSr.

[0049] In order to more stabilize the optical path of the reference beam BSr, temperature-controlled clean air may be sent in a direction intersecting the optical path over the cover plate 87. In this case, the cover plate 87 also has a function for preventing a direct air blow for air-conditioning of the optical path to the liquid LQ, thus reducing unnecessary evaporation of the liquid LQ.

Alternatively, the entire optical path of the reference beam BSr may be covered with a wind-shielding cylinder instead of such a simple cover plate 87.

[0050]

[Description of Fifth Embodiment] Referring next to FIGS. 7(A) and (B), a fifth embodiment will be described. This embodiment shows a combination of the structure of the holder table WH shown in FIG. 1 with a center-up mechanism (pins 83 and z-driving mechanism 85) shown in FIG. 5, that is, it shows an improved structure of the holder table WH for easy wafer change. FIG. 7(B) is a plan view of the improved holder table WH and FIG. 7(A) is a sectional view taken along the line 7A in FIG. 7(B). It is apparent from FIGS. 7(A), (B) that the holder table WH is held on the XY stage 34 through three Z actuators 32A, 32C (32B not shown), and three through-holes 91 are provided in the central portion of the holder table WH. Center-up pins 83 moving up and down by means of a driving part 85 penetrate through the through-holes 91, respectively.

[0051] As described above, the height of the downmost end face of the projection lens system PL is just about 2 mm from the surface of the auxiliary plate HRS (wafer W) in its original state. In addition, the upper end of the wall LB provided around the holder table WH is higher than the downmost end face of the projection lens system PL. Therefore, if the XY stage 34 is moved for wafer change to draw out the wafer from the position directly below the

projection lens system PL, the width of part of the auxiliary plate HRS will have to be about as large as the diameter of the lens barrel of the projection lens system PL, resulting in an increase in the volume of the holder table WH in which the liquid LQ is filled.

[0052] Therefore, in the embodiment, part of the wall LB of the holder table WH is cut or notched to provide a liquid sealing door DB to freely open or close in the notch portion. The liquid sealing door DB is closed to close the notch portion of the wall LB to seal the liquid while the liquid LQ is being filled as shown in FIGS. 7(A), (B). On the other hand, it is open as indicated by the broken line in FIG. 7(A) while the liquid LQ is being discharged from the holder table WH. The liquid sealing door DB is configured to be slightly higher than the surface of the auxiliary plate HRS when it is in the open state. Further, an O ring OL is provided in position on the wall side (including the notch portion of the wall LB) corresponding to the body side of the holder table WH that encounters the inner wall of the liquid sealing door DB to ensure sealing performance as shown in FIG. 7(B).

[0053] In such a structure, when the wafer on the holder table WH is changed for another, the liquid LQ is first discharged from the holder table WH before opening the liquid sealing door DB. Then, the XY stage 34 is moved to the right in FIG. 7 so that the wafer is drawn out from the position directly below the projection lens system PL. At

this time, the projection lens system PL is located above the liquid sealing door DB that has just been opened. Then, the center-up pins 83 are raised to lift up the wafer to a position higher than the wall LB, thus making it easy to replace the wafer.

[0054] According to the embodiment, the diameter of the wall LB surrounding the perimeter of the holder table WH can be minimized to minimize the total amount of liquid LQ to be filled in the holder table WH. This structure has the advantages of making it easy to manage the temperature of the liquid LQ and minimizing the filling and discharging time of the liquid LQ. In the structure of the fourth embodiment, the liquid sealing door does not need providing because the wafer chuck is lifted down, but such a liquid sealing door may also be provided in the fourth embodiment.

[0055]

[Description of Sixth Embodiment] Next, FIG. 8 shows a sixth embodiment of the present invention. In the embodiment, a lower case 7 and an upper case 8 are used. A wafer holder 3a for loading a wafer 3 is formed on the inner bottom of the lower case 7. The upper face of the lower case 7 is hermetically closed by the bottom surface of the upper case 8, and the total volume of the lower case 7 is fully filled with an immersion liquid 7a. The upper case 8 is also filled with an immersion liquid 8a so that the last or front lens surface 1a of a projection optical system 1 will be immersed in an immersion liquid 8a.

[0056] Part of the immersion liquid 7a in the lower case 7 is guided to a thermoregulator 6 from an outlet 5 provided on one side of the lower case 7 so that the thermoregulator 6 will regulate the temperature of the immersion liquid 7a. The temperature-regulated immersion liquid 7a is then given back to the lower case 7 from an inlet 4 provided on the other side of the lower case 7, thus circulating the immersion liquid 7a. A plurality of temperature sensors (not shown) are placed at plural positions in the lower case 7 so that the thermoregulator 6 will control the temperature of the immersion liquid 7a in the lower case 7 to be kept constant based on the output of the temperature sensors. The same temperature control mechanism is also provided for the immersion liquid 8a in the upper case 8.

[0057] In the embodiment, the lower case 7 and the upper case 8 are integrally moved to move the wafer 3. On the other hand, since the immersion liquid in the lower case in which the wafer 3 is housed is hemetrically substantially closed, this structure are advantageous not only because of its temperature stability but also because it can prevent the occurrence of a pressure distribution due to an unnecessary flow such as a vortex in the immersion liquid. In other words, a pressure distribution in the immersion liquid causes a fluctuation in refractive index and hence the deterioration of the imaging wavefront aberration. However, in the sixth embodiment, since only the pressure distribution in the immersion liquid 8a filled in the upper

case 8 causes a problem, the optical path in this section  $L_8$  can be formed short enough to mitigate the influence of the flow of the immersion liquid during wafer movement to such a level not to cause any practical problem.

[0058] In the embodiment, the lower case 7 and the upper case 8 are integrally moved, but only the lower case 7 can be moved while fixing the upper case 8. In such a structure, the immersion liquid 8a in the upper case 8 completely stops its flow. Therefore, it is preferable that the working distance  $L$  be so set that the thickness  $L_7$  of the immersion liquid 7a in the lower case 7 will be sufficiently thinner than the thickness  $L_8$  of the immersion liquid 8a in the upper case 8.

[0059]

[Description of Alternative Embodiments] Although the embodiments of present invention are described above, since the working distance of the projection lens system during immersion exposure is extremely small, about 1-2 mm, as shown in FIG. 1, the off-axis type focus alignment sensor FAD is used for focusing on the wafer W. Alternatively, a TTL (Through-The-Lens) type focus detection mechanism as disclosed, for example, in US Patent No. 4,801,977 or 4,383,757, may be provided, which projects a focus detection beam onto the wafer through a peripheral part within the projection field of the projection lens system PL to measure the height or tilt of the wafer surface.

[0060] Further, although the focus alignment sensor FAD



shown in FIG. 1 is of an off-axis type that optically detects the alignment marks on the wafer W, this alignment sensor may be of the TTL type that detects the marks on the wafer W through only the projection lens system PL and provided in addition to the TTR alignment sensor 45 in FIG. 1 for detecting the marks on the wafer W through both the reticle R and the projection lens system PL. Furthermore, if the present invention includes a projection optical system for projection exposure under the source of ultraviolet light (having a wavelength of 400 nm or less), it can be applied to any exposure apparatus in the same manner regardless of its structure.

[0061]

[Effects of the Invention] As described above, the present invention provides an immersion exposure apparatus or aligner that can ensure sufficient image forming performance in the range of practically feasible temperature control. The present invention also provides the structure of a wafer stage suitable for loading and unloading a wafer in the immersion alignerexposure apparatus.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] It is a diagram showing the overall structure of a scanning type projection alignerexposure apparatus according to a first embodiment of the present invention.

[FIG. 2] It is a perspective view for schematically explaining a sequence of scanning exposure.

[FIG. 3] It is a partially sectional view showing a detailed configuration around a projection lens system in FIG. 1.

[FIG. 4] It is a block diagram schematically showing liquid temperature control and a liquid supply system according to a second embodiment of the present invention.

[FIG. 5] It is a partially sectional view showing a configuration around a wafer holder and a projection lens system according to a third embodiment of the present invention.

[FIG. 6] It is a partially sectional view showing a configuration around a wafer holder and a projection lens system according to a fourth embodiment of the present invention.

[FIG. 7] It includes a sectional view (A) and a plan view (B) showing the structure of a holder table according to a fifth embodiment of the present invention.

[FIG. 8] It is a schematically sectional view showing the main part of a sixth embodiment of the present invention.

[Description of Notations]

1 ... Projection Optical System	1a ... Last Lens Surface
7, 8 ... Case	7a, 8a ... Immersion Liquid
3 ... Wafer	3a ... Wafer Holder
4 ... Inlet	5 ... Outlet
6 ... Thermoregulator	L ... Working Distance
10 ... Illumination System	12 ... Condenser Lens System
14 ... Mirror	16 ... Reticle Stage

17 ... Laser Interferometer System                      18 ... Motor  
 19 ... Column Structure                      20 ... Reticle Stage Controller  
 30 ... Base                      32A, 32B, 32C ... Actuator  
 33 ... Laser Interferometer System                      34 ... XY Stage  
 35 ... Wafer Stage Controller                      36 ... Drive Motor  
 40 ... Main Controller                      50A, 50B ... Thermoregulator  
 51 ... Groove 51                      52 ... Passage  
 53 ... Pipe                      53A, 53B ... Passage  
 55 ... Temperature Sensor                      60 ... Controller  
 62 ... Selector Valve                      64 ... Liquid Supply Unit  
 64A ... Pump                      64B ... Temperature Controller  
 66 ... Drainage Pump 66                      80 ... Sub Lens-Barrel  
 82 ... ZL Stage                      83 ... Center-Up Pin  
 84A, 84B ... Leaf Spring                      85 ... Vertically Driving Mechanism  
 87 ... Cover Plate                      88A, 88B ... Drive Mechanism  
 90 ... Wafer Chuck                      91 ... Through-Hole  
 95 ... Arm                      112 ... Piping  
 113 ... Suction Face                      114 ... Outer Corner Portion  
 IL ... Pulsed Illumination Light                      AI ... Illuminated Area  
 R ... Reticle                      Pa ... Circuit Pattern Area  
 SB ... Light-Shielding Zone                      PL ... Projection Lens System  
 AX ... Optical Axis                      LGa ... Front Lens Group System  
 LGb ... Rear Lens Group System                      Ep ... Projection Pupil  
 LE1 ... Positive Lens Element                      Pe ... Lower Face  
 CG ... Parallel Flat Plate                      W ... Wafer  
 SAa, SAb ... Shot Area                      SI ... Projected Image  
 WH ... Holder Table                      LB ... Wall

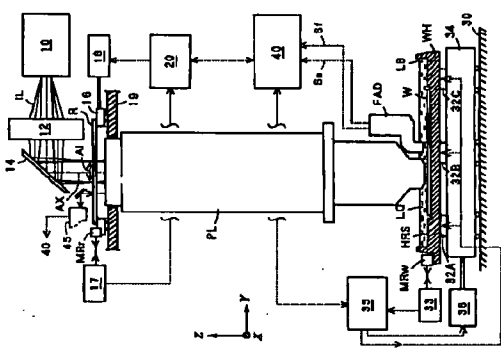
LQ ... Liquid            HRS ... Auxiliary Plate  
DB ... Liquid Sealing Door            OL ... O Ring  
FAD ... Focus Alignment Sensor  
MRr, MRw ... Moving Mirror            ML ... Reference Mirror  
BSr ... Reference Beam            BSm ... Measuring Beam  
Sf ... Focus Signal            Sa ... Alignment Signal

(51) IntCl <sup>5</sup>	識別記号	F I
H 01 L 21/027		515 D
G 03 F 7/20	5 2 1	5 2 1
		5 1 8

(21) 出願番号	特願平9-121757	審査請求 未請求	請求項の数 12	F 12 (全 14 項)
(22) 出願日	平成 9 年(1987) 4 月23日			
(71) 出願人	00004112 株式会社ニコン			
(72) 発明者	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 牛田 一雄			
(73) 発明者	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 岡部 敏一			
(74) 代理人	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 井野士 雅昭 茂彦			

(54) 発明の名称 液浸型露光装置

(57) 要約  
【課題】結像性能の劣化を招くことのない液浸型露光装置を提供する。  
【解決手段】レチクルR上に描画されたパターンPaをウェハW上に焼付転写する投影光学系PLを有し、該投影光学系のウェハに最も近接したレンズ面PoとウェハWとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光Lを透過する液体LQで満たした液浸型露光装置において、ワーキングディスタンスの長さLとし、露光光Lの波長をλとし、液体LQの屈折率の温度係数をN(1/°C)としたとき、 $L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$  となるように形成したことを特徴とし、また、液体LQとして、純水の表面張力を減少させ又は純水の界面活性度を増大させる添加剤を純水に添加したものを採用したことを特徴とする。



【特許請求の範囲】  
【請求項1】レチクル上に描画されたパターンをウェハ上に焼付転写する投影光学系を有し、該投影光学系のウェハに最も近接したレンズ面と前記ウェハとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光を透過する液体で満たした液浸型露光装置において、前記ワーキングディスタンスの長さLとし、前記露光光の波長をλとし、前記液体の屈折率の温度係数をN(1/°C)としたとき、 $L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$  となるように形成したことを特徴とする液浸型露光装置。

【請求項2】レチクル上に描画されたパターンをウェハ上に焼付転写する投影光学系を有し、該投影光学系のウェハに最も近接したレンズ面と前記ウェハとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光を透過する液体で満たした液浸型露光装置において、前記液体として、純水の表面張力を減少させ又は純水の界面活性度を増大させる添加剤を前記純水に添加したものを採用したことを特徴とする液浸型露光装置。

【請求項3】前記ワーキングディスタンスの長さLが2mm以下である、請求項1又は2記載の液浸型露光装置。

【請求項4】前記レチクルとウェハを前記投影光学系の倍率に対応した速度比にて同期して等速に走査可能に配置した、請求項1、2又は3記載の液浸型露光装置。

【請求項5】前記露光光として紫外域の光を用いた、請求項1、2、3又は4記載の液浸型露光装置。

【請求項6】前記投影光学系の最もウェハ側の先端光学素子のウェハ側の光平面を平面状に形成し、前記先端光学素子を保持する顕微鏡の下端面を前記光学面と同一平面をなすように形成し、前記顕微鏡の下端面外周面に面取りを施した、請求項1、2、3、4又は5記載の液浸型露光装置。

【請求項7】前記先端光学素子が平行平板である、請求項6記載の液浸型露光装置。

【請求項8】前記ウェハをホルダーテーブルによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ホルダーテーブルの上面外周に壁部を立設し、前記ホルダーテーブル内に前記液体を供給し且つ回収できるように液体供給ユニットを設け、前記ホルダーテーブルと液体供給ユニットとの双方に温度調整器を設けた、請求項1〜7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項9】前記ウェハをウェハチャックによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ウェハチャックの上面外周に壁部を立設し、前記ウェハチャックを貫通して少なくとも3本のピンを設け、前記ウェハを前記ウェハチャックの上方に持ち上げることができるように、前記ピンに昇降

駆動装置を取り付けた、請求項1〜7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項10】前記ウェハをウェハチャックによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ウェハチャックの上面外周に壁部を立設し、前記ウェハチャックを貫通して少なくとも3本のピンを設け、ウェハチャックの前面壁部の上面を前記投影光学系の下端より低くすることができるように、前記ウェハチャックに昇降駆動装置を取り付けた、請求項1〜7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項11】前記壁部の一部分と隣接自在な液密ドア部を設けることにより、投影光学系の下端部分との干渉を回避した、請求項1〜10のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項12】前記投影光学系の側面に干渉計用のミラーを取り付け、該ミラーに入射して反射する光束を前記液体から発する蒸気により隔断するように防護手段を設けた、請求項1〜11のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レチクル上に描画されたパターンを投影光学系によってウェハに焼付ける露光装置に関し、特に液浸型の露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光学系の最終レンズ面と像面との間の間隔をワーキングディスタンスというが、従来の露光装置の投影光学系のワーキングディスタンスは、空気で満たされていた。このワーキングディスタンスは、オートフォーカス光学系を介在させるなどの場合に、10mm以上取るのが普通であった。他方、ウェハに転写するパターンについては、その微細化がますます望まれており、そのためには露光波長の短波長化を図るか、あるいは開口数の増大を図る必要がある。しかるに短波長の光を透過するガラス材料の種類には限度があるから、ワーキングディスタンスを液体で満たして開口数の増大を図ることにより、露光パターンの微細化を図る液浸型の露光装置が提案されている。

【0003】液浸型の露光装置では、ワーキングディスタンスに介在させた液体の温度分布によって、屈折率に分布が生じるおそれがある。そこで液体の温度変化に起因する結像性能の劣化への対策として、次のような技術が提案されている。すなわち、(a) 液体の温度安定機構によって温度の安定化を図るものとして、米国特許4,346,164号の図3に開示された技術が提案され、(b) 加振機構によって温度の均一化を図るものとして、特開平6-124873号公報に開示された技術が提案されている。また、(c) 液体の温度モニター機構によって温度調節にフィードバックするものとし



のマークの光学的な特徴に対応した光電信号を解析して、マークのXY位置又は位置ずれ量を表すアライメント信号S<sub>a</sub>を出力する。

【0022】そして以上のフォーカス信号S<sub>f</sub>とアライメント信号S<sub>a</sub>は主制御器40に送出され、主制御器40はフォーカス信号S<sub>f</sub>に基づいて3つのZアクチュエータ32A、B、Cの各々を最速に駆動するなどの情報を用エハステージ制御器35に送出する。これによってウエハステージ制御器35は、ウエハW上の英器に投影ウエハステージ制御器35は、ウエハW上の英器に投影されるべき領域に対するフォーカス調整やチルト調整が行われるように、各Zアクチュエータ32A、B、Cを制御する。

【0023】また主制御器40は、アライメント信号S<sub>a</sub>に基づいて、レチクルRとウエハWとの相対的位置関係を整合させるためのXYステータス34の座標位置を管理する。さらに主制御器40は、ウエハW上の各ジョット領域を走査露光する際、レチクルRとウエハWとがY方向に投影レンズ系PLの投影倍率と等しい速度で等速移動するように、レチクルステータス制御器20とエハステータス制御器35とを同期制御する。

【0024】なお、図1中のフォーカス・アライメントセンサFADは投影レンズ系PLの先端部周辺の1ヶ所にだけしか設けられていないが、投影レンズ系PLの先端部を狭くY方向に2ヶ所、X方向に2ヶ所の計4ヶ所に設けておくのがよい。また図1中のレチクルRの上には、レチクルRの周辺部に形成されたアライメント用のマークとウエハW上のアライメント用のマーク（又は基準マーク上の基準マーク）とを投影レンズ系PLを通して同時に検出して、レチクルRとウエハWとの位置ずれを高精度に計測するTTR（スループレート）方式のアライメントセンサ45が設けられている。そしてこのTTRアライメントセンサ45からの位置ずれ計測信号は主制御器40に送出され、レチクルステータス34とXYステータス34の位置決めがなされる。

【0025】ところで図1の露光装置は、XYステータス34をY方向に等速移動させて走査露光を行うものであるが、その走査露光時のレチクルR、ウエハWのスキヤ移動とステータス移動とのスケジューリングを図を参照して説明する。図2において、図1中の投影レンズ系PLは、前群レンズ系LG<sub>a</sub>と後群レンズ系LG<sub>b</sub>とで代表的に表してあり、その前群レンズ系LG<sub>a</sub>は後群レンズ系LG<sub>b</sub>との間には、投影レンズ系PLの射出面E<sub>p</sub>が存在する。また図2に示したレチクルRには、投影レンズ系PLの物体面の凹形イメージフィールドの直後法よりも大きな対角長を有する凹路パターン領域P<sub>a</sub>が、透光帯SBによって区画された内側に形成されている。【0026】そしてレチクルR上の領域P<sub>a</sub>は、レチクルRを例えばY軸に沿った負方向に一定速度V<sub>r</sub>でスキヤン移動させつつ、ウエハWをY軸に沿った正方向に一

定速度V<sub>w</sub>でスキヤン移動させることによって、ウエハW上の対応したジョット領域S<sub>a</sub>に走査露光される。このとき、図2に示すようにレチクルR上の領域P<sub>a</sub>内でX方向に伸びた平行なジョット状又は矩形状に設定され、そのX方向の両端部は透光帯SB上に位置する。

【0027】さて、レチクルR上の領域P<sub>a</sub>内のパルス照明領域L<sub>a</sub>に含まれる部分パターンは、投影レンズ系PL（レンズ系LG<sub>a</sub>、LG<sub>b</sub>）によってウエハW上のジョット領域S<sub>a</sub>内の対応した位置に像S<sub>i</sub>として結像される。そしてレチクルR上のパターン領域P<sub>a</sub>とウエハW上のジョット領域S<sub>a</sub>との相対位置が完了すると、ウエハWは例えばジョット領域S<sub>a</sub>の隣のジョット領域S<sub>a</sub> bに対する走査開始位置にくるように、一定速度V<sub>r</sub>で移動させつつ、ウエハWを投影像S<sub>i</sub>に対してY軸の負方向に一定速度V<sub>w</sub>で移動させること、ジョット領域S<sub>a</sub> b上に電子光源からのパルス光が成される。なお、エキシマレーザ光源からのパルス光は走査露光に用いる技術の一例は、例えば米国特許4,924,257号に開示されている。

【0028】ところで図1、2に示した投影露光装置は、レチクルR上の凹路パターン領域の対角長が投影レンズ系PLの凹形イメージフィールドの直径よりも小さい場合、照明系10内のレチクルブラインドの開口の形状や大きさを要えて、照明領域A<sub>1</sub>の形状をその凹路パターン領域に合わせると、図1の装置をステップ・アンド・リピート方式のステッパバーとして使うことができ、この場合、ウエハW上のジョット領域を露光していく間は、レチクルステータス34とXYステータス34とを相対的に静止状態にしておく。しかしながらその露光中にウエハWが移動するときは、その移動をレーザ干渉計システム3で計測して投影レンズ系PLに対するウエハWの微小な位置ずれ分をレチクルR側で追従補正するように、レチクルステータス34を微動制御すればよい。またレチクルブラインドの開口の形状や大きさを要する場合は、開口形状やサイズの調整に合わせて、レチクルブラインドに達する光源からのパルス光を調整後の開口に重合させた領域に集中させるようなズームレンズ系を設けてもよい。

【0029】なお、図2から明らかなように、投影像S<sub>i</sub>の領域はX方向に延びたスリット状又は矩形状に設定されているため、走査露光時のチルト調整は本実施例では専らY軸回りの回転方向、すなわち走査露光の方向に対してローリング方向のみに行われる。もちろん、投影像S<sub>i</sub>の領域の走査方向の幅が大きき、ウエハ表面の走

査方向に関するフラットネスの影響を考慮しなげばならないときは、当然にX軸回りの回転方向、すなわちビッチング方向のチルト調整も走査露光中に行われる。

【0030】ここで、本実施例による露光装置の体積であるホルダテーパーブルW<sub>H</sub>内の液体LQの状態について、図3を参照して説明する。図3は投影レンズ系PLの先端部からホルダテーパーブルW<sub>H</sub>までの部分断面を表す。投影レンズ系PLの鏡筒内の先端には、断面P<sub>e</sub>が平面で上面が凸面の正レンズ系L<sub>E</sub>1が固定されている。このレンズ系L<sub>E</sub>1の下面P<sub>e</sub>は、鏡筒全体の先端部の端面と同一面となるように加工（フラッシュアップ加工）されており、液体LQの流れが阻まれることを抑えている。さらに投影レンズ系PLの鏡筒先端部で液体LQ内に浸かる外周角部114は、例えば図3のように大きな曲率で面取り加工されており、液体LQの流れに対する抵抗を小さくして不要な渦の発生や逆流を抑える。また、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>の内底部の中央には、ウエハWの裏面を真空吸着する吸着の突出した吸着面113が形成されており、この吸着面113は、具体的には1mm程度の高さでウエハWの径方向に所定のビッチで同心円状に形成された複数の輪帯状ランド部として作られる。そして各輪帯状ランド部の中央に刻設された溝の各々は、テーパーブルW<sub>H</sub>の内部で真空吸着用の真空管に接続される配管112につながっている。

【0031】さて、本実施例では図3に示すように、投影レンズ系PLの先端のレンズ系L<sub>E</sub>1の下面P<sub>e</sub>とウエハW（又は補助プレートHRS）の表面とのベクトル間隔は、2〜1mm程度の間に設定される。そのため、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>内に満たされた液体LQの深さH<sub>q</sub>は、間隔に対して2〜3倍程度以上であればよく、従ってホルダテーパーブルW<sub>H</sub>の周辺に立設された壁部LBの高さは数mm〜10mm程度でよい。このように本実施例では、投影レンズ系PLのウェーキングディスタンスとしての間隔Lに満たされる液体LQの総量も少なくても済み、温度制御も容易になる。

【0032】ここで本実施例で使う液体LQは、入手が容易で取扱いが簡単な純水を用いる。ただし本実施例では、液体LQの表面張力を減少させるとともに、界面活性力を増大させるために、ウエハWのレジスト層を溶解させず、且つレンズ系L<sub>E</sub>1の光学コートに付着する影響が極小でできる脂肪族系の炭素（液体）をわずかな割合で添加しておく。その添加利としては、純水とは等しい屈折率を有するメチルアルコール等が好ましい。このようにすると、純水中のメチルアルコール成分が溶解して含有濃度が変化しても、液体LQの全体としての屈折率変化を極めて小さくできるといった利点がある。

【0033】さて、液体LQの温度はある目標温度に対して一定の精度で制御されるが、現在比較が容易に温度

ることが可能となる。

【0018】さて、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>は、投影レンズ系PLの光軸AXに沿ったZ方向への並進移動（本実施例では粗移動と称す）と、光軸AXに垂直なXY平面に対する傾動移動とが可能のように、XYステータス34上にはXYステータス34はベーズ定盤に取り付けられる。このXYステータス34はXYステータス30上をXY方向に2次元で移動し、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>はXYステータス34上に3つのZ方向用のアクチュエータ32A、32B、32Cを介して取り付けられる。各アクチュエータ32A、B、Cは、ピエゾ伸縮素子、ボイスコイルモータDCモータとリフト・カムとの組合せ機構等で構成される。そして3つのZアクチュエータHを同じ量だけZ方向に駆動させると、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>をZ方向（フォーカス方向）に平行移動させることができ、3つのZアクチュエータを互いに異なる量だけZ方向に駆動させると、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>の傾斜（チルト）方向とその量とが調整できる。

【0019】また、XYステータス34の2次元移動は、送りネジを回転させるDCモータや非接触駆動力を発生させるリニアモータ等で構成される駆動モータ36によって行われる。この駆動モータ36の制御は、ホルダテーパーブルW<sub>H</sub>の端部に固定された移動検出MRWの反射鏡3X方向、Y方向の各位置変化を計測するレーザ干渉計33からの計測検出位置を入力するウエハステータス制御器35によって行われる。なお、駆動モータ36をリニアモータとしたXYステータス34の全体構成としては、例えば特開平8-233964号公報に開示された構成を使ってもよい。

【0020】さて、本実施例では投影レンズ系PLのウェーキングディスタンスが小さく、投影レンズPLの先端のレンズ系L<sub>E</sub>1とウエハWとの間の2〜1mm程度の狭い間隔に液体LQを満たすことから、斜入射光方式のフォーカスセンサの投光ビームを投影レンズ系PLの視野に投影したウエハW上に斜めに投射することが望ましい。このため本実施例では図1に示す通り、オブ・アークシス方式（投影レンズ系PLの投影視野内にはフォーカス検出点がない方式）でフォーカス・レベリング検出系と、オブ・アークシス方式でウエハW上のアライメント用のマークを射出するマーク検出系とを含むフォーカス・アライメントセンサFADを投影レンズ系PLの鏡筒の下端部周辺に配置する。

【0021】このフォーカス・アライメントセンサFADの先端に取り付けられた光学素子（レンズ、ガラス板、プリズム等）の下面は、図1に示すように液体LQ中に配置され、その光学素子からはアライメント用の照明ビームやフォーカス検出用のビームが液体LQを通して射される。そしてフォーカス・レベリング検出系はウエハWの表面の段状像面に対する位置検出に用いたフォーカス信号S<sub>f</sub>を出力し、マーク検出系はウエハW上

制御できる精度は $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 程度である。そこでこのように温度制御のもとでの現実的な液温変化法を考えてみる。一般に空気の屈折率の温度係数 $N_t$ は約 $-9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であり、水の屈折率の温度係数 $N_t$ は約 $-8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であり、水の屈折率の温度係数 $N_t$ の方が2桁程度も大きい。一方、ワーキングディスタンスを1とすると、ワーキングディスタンス $L$ を固定し、媒質の温度変化(温度変化 $\Delta T$ )に起因して生じる結果の液面収差 $\Delta F$ は近似的に次式で表される。

$$\Delta F = L \cdot |N_t| \cdot \Delta T \quad (1)$$

【0034】ここで、液温変化法を適用しない通常の投影撮影の場合、ワーキングディスタンス $L$ を10mm、温度変化 $\Delta T$ を $0.01^\circ\text{C}$ としたときの液面収差 $\Delta F$ は、以下のようになる。

$$\Delta F_{\text{水}} = L \cdot |N_t| \cdot \Delta T \approx 0.09 \text{ mm}$$

また同じワーキングディスタンス $L$ と温度変化 $\Delta T$ の下で、液温変化法を適用した場合に得られる液面収差 $\Delta F_{\text{水}}$ は、以下のようになる。

$$\Delta F_{\text{水}} = L \cdot |N_t| \cdot \Delta T \approx 8 \text{ nm}$$

【0035】この液面収差は、一般に使用波長 $\lambda$ の1/30ないし1/50ないし1/100程度に増加しないとされているから、ArFエキシマレーザを使う場合における最大の液面収差 $\Delta F_{\text{水}}$ は、 $\lambda/30$ ないし $\lambda/50 \sim \lambda/100$ 程度の6.4ないし3.2nm、86~1.93nmに定められ、望ましくは $\lambda/100$ の1.93nm以下に定められる。ところで空気と水の屈折率の差は、空気中で0.0241W/mKとなり、水で0.561W/mKとなり、水の方が熱伝導が良く、水中に形成される光路内での温度ひらは空気中よりも小さくでき、結果的に液体中で発生する屈折率の揺らぎも小さくできる。しかしながら、式(3)に表したようにワーキングディスタンス $L$ が10mm程度の場合、温度変化 $\Delta T$ が $0.01^\circ\text{C}$ であったとしても、発生する液面収差 $\Delta F_{\text{水}}$ は許容収差 $\Delta F_{\text{水}}$ を大きく越えてしまう。

【0036】そこで以上の考察から、許容液面収差 $\Delta F_{\text{水}}$ を考慮した温度変化 $\Delta T$ とワーキングディスタンス $L$ との関係は、

$$\Delta F_{\text{水}} = \lambda/30 \geq L \cdot |N_t| \cdot \Delta T$$

ないしは、

$$\Delta F_{\text{水}} = \lambda/100 \geq L \cdot |N_t| \cdot \Delta T$$

となる。ここで、想定される温度変化 $\Delta T$ を0.01 $^\circ\text{C}$ 、波長 $\lambda$ を1.93nm、そして液体 $L$ の屈折率変化 $N_t$ を $-8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ とすると、必要とされるワーキングディスタンス(液体層の厚み) $L$ は、8mmないし2.4mm以下となる。望ましくは、そのワーキングディスタンスを液体 $L$ がスムーズに流れる範囲内で2mmよりも小さくした方がよい。以上のように本実施例のように構成することにより、液体 $L$ の温度制御が容易になるとともに、液体層内の温度変化に起因した

液面収差変化で生じる投影像の劣化が抑えられ、極めて高い解像度でレザクルRのパターンを投影露光することが可能となる。

【0037】

【第2の実施例の説明】次に、本発明の第2の実施例について図4を参照して説明する。本実施例は、先の第1の実施例にも同様に適用可能な液体 $L$ の温度制御法と、ウエハWの交換時の液体 $L$ の取り扱い方法とを示す。従って、図4において先の図1、3中の部材と同じもの

には同一の符号をつけてある。さて、図4においてホルダケーシングの内部に円形の凹部として形成されたウエハ載置部には複数の吸着部113が形成されている。そして円形のウエハ載置部の周辺には、液体 $L$ の供給と排出に用いる溝51が環状に形成され、その溝51の一部は、ケーシング内に形成された通路52を介して、外部のパイプ53につながれている。またホルダケーシングの内部にウエハ載置部の直下と補助プレート部HRの直下には、ベルチー要素等々の温度調整器50A、50Bが埋め込まれ、ホルダケーシング上の通当位置(望ましくは複数箇所)には温度センサー55が取り付けられて、液体 $L$ の温度が検出される。そして温度調整器50A、50Bは、温度センサー55によって検出される液体 $L$ の温度が一定値になるように、制御器80によって制御される。

【0038】一方、パイプ53は、切り替えバルブ82を介して、液体供給ユニット64と排出ポンプ66に接続されている。切り替えバルブ82は、制御器80からの指令に応じて、液体供給ユニット64からの液体 $L$ をパイプ53に供給する通路か、パイプ53からの液体 $L$ を排出ポンプ66を介して供給ユニット64に戻す通路かを切り替えるように動作する。また供給ユニット64内には、ホルダケーシング内の液体 $L$ の全体を取扱可能なリザーブタンク(不図示)と、このタンクから液体 $L$ を供給するポンプ64Aと、そのポンプ64Aを含めタンク内の液体 $L$ 全体を一定の温度に保つ温度調整器64Bとが設けられている。さらに以上の構成において、バルブ82、ポンプ64A、温度調整器64B、排出ポンプ66の各動作は、制御器80によって統一的に制御される。

【0039】さて、このような構成において、ウエハWがホルダケーシングの載置部に搬送され、プリアライメントされた状態で複数の吸着部113上に搬置されると、図3に示した真空吸着用の配管112を介して減圧固定される。この間、温度調整器50A、50Bは、目標となる温度に制御され続けられている。そしてウエハWの真空吸着が完了すると、切り替えバルブ82がクロージャ位置から供給ユニット64側に切り替わり、温度調整された液体 $L$ がポンプ64Aの動作によって、パイプ53、通路52、溝51を介してホルダケーシングの内部に一定量だけ注入され、切り替えバル

ブ62がクロージャ位置に戻る。その後、ウエハWに対する露光が完了すると、直下に切り替えバルブ62がクロージャ位置から排出ポンプ66側に切り替わり、排出ポンプ66の動作によってケーシング内の液体 $L$ が溝51、パイプ53を介して供給ユニット64のリザーブタンク内に戻される。そのタンク内に戻された液体 $L$ は、リザーブタンク内の温度センサーからの検出信号に基づいて、次のウエハWが準備できるまで温度調整器64Bによって精密に温度制御される。

【0040】このように本実施例によれば、液温露光中の液体 $L$ はホルダケーシング内の温度調整器50A、50Bによって温度制御され、ウエハ交換時には液体 $L$ を供給ユニット64内に回収して温度制御するようにしたので、ウエハ交換が大气中で可能になるとともに、液体 $L$ の大きな温度変化を防止できると云った利点がある。さらに本実施例によれば、ウエハ交換後にホルダケーシング内に注入される液体 $L$ は、たとえ設定温度に対して僅か(例えば $0.5^\circ\text{C}$ 程度)が異なっていたとしても、液体層の液温 $H_t$ (図3参照)が緩やかにたいて比較的低い(例えば $0.5^\circ\text{C}$ 程度)に保たれているため、液体層の温度変化の影響を軽減させた液温変化法が実現できる。また、平行平板CGは液温に依存することがあるから、平行平板CGの表面の一部を液温の幾分の1程度のオーダーで研削することにより、投影像内で生じている局所的な微小歪曲を(あるいはランダムなディストーション)を容易に修正することが可能となる。すなわち、平行平板CGは投影レンズ系PLの最先端のレンズ要素を液体から保護する意としての機能と、ディストーション補正法としての機能とを兼ね備えることとなる。なお、別の見方としては平行平板CGを含めて投影レンズ系PLの結像性能が保証されているので、平行平板CGが投影レンズ系PLの最先端の光学素子であることに変わりはない。

【0041】

【第3の実施例の説明】次に第3の実施例について図5を参照して説明する。図5は先の図3の構成を改良したホルダケーシングの部分断面を表し、この実施例のホルダケーシングは、ウエハWを保持するウエハチャック90と、フォーカスレベリングのためのZ方向移動とチルト移動を行うZステージ82とに別れており、Zステージ82上にウエハチャック90が搬置されている。そしてZステージ82は、3つのZアクチュエータ32A、32C(32Bは省略)を介して、XYステージ34上に設けられる。そしてチャック90には、図1、3、4と同様に、駆動部B、補助プレート部HR、S、真空吸着用の配管112、液体 $L$ の供給、排出用のパイプ53(図4参照)に接続される通路53A、53Bがそれぞれ形成されている。ただし、通路53Aはウエハチャック90内部の補助プレート部HRの周辺部分につながっており、通路53Bはウエハチャック90内部のウエハ載置部の最も低い部分につながっている。このようにウエハチャック90内部の複数の所に液体排出、注入用の通路を形成しておく、液体の出し入れが迅速に行われる。

【0042】さらに本実施例では、チャック90の中央部に3つ(2つの図示)の貫通孔91が形成され、この貫通孔91を通して上動する3つ(2つの図示)のセンサアンプ83が、上下動駆動機構85の上側に設けられている。この上下動駆動機構85は、XYステージ34側に固定される。その3つのセンサアンプ83は、ウエハ交換時にチャック90上のウエハWを載置面から一定量だけ持ち上げたり、ウエハWを載置

面上に下ろしたりするためのものであり、ウエハWがチャック90の載置面に真空吸着された状態で、図5に示すようにセンサアンプ83の先端は、チャック90の載置面よりも下がった位置に設定される。【0043】一方、本実施例で使用する投影レンズ系PLの先端部には、サブ鏡筒80の先端に光軸AXと垂直に固定された石英の平行平板CGが取り付けられ、したがって先端のレンズ要素LE1(平行レンズ)が液体 $L$ に接することがないよう構成されている。本実施例Qでは、この平行平板CGの下面とウエハWの表面との間隔が見かけ上のワーキングディスタンスとなり、先の実施例と同様に2mm以下に設定される。またサブ鏡筒80の平行平板CGとの取付け面は防水加工され、サブ鏡筒80の内部には窒素ガスが充填されている。

【0044】このように投影レンズ系PLの先端に平行平板CGを設けるようにすると、投影レンズ系PLの実際のバックフォーカス距離(屈折力を持つ光線の光学素子から像面までの距離)が10~15mm程度であっても、容易にワーキングディスタンスを1~2mm程度にして液体の温度変化の影響を軽減させた液温変化法が実現できる。また、平行平板CGは液温に依存することがあるから、平行平板CGの表面の一部を液温の幾分の1程度のオーダーで研削することにより、投影像内で生じている局所的な微小歪曲を(あるいはランダムなディストーション)を容易に修正することが可能となる。すなわち、平行平板CGは投影レンズ系PLの最先端のレンズ要素を液体から保護する意としての機能と、ディストーション補正法としての機能とを兼ね備えることとなる。なお、別の見方としては平行平板CGを含めて投影レンズ系PLの結像性能が保証されているので、平行平板CGが投影レンズ系PLの最先端の光学素子であることに変わりはない。

【0045】

【第4の実施例の説明】次に本発明の第4の実施例について図6を参照して説明する。本実施例は、先の図5に示した実施例とも関連し、ワーキングディスタンスを極めて小さくした投影光学系を液温投影露光法に使用した場合のウエハ交換に関するものである。図6において、投影レンズ系PLの鏡筒の下端部には、図1に示したレーザ干渉計33からの参照ビームBSRを受けて反射する参照ミラーML(X方向用とY方向用)が固定されている。そしてレーザ干渉計33からの参照ビームBSRは、先の図5に示したようなZステージ82の端部に固定された移動鏡MRWに反射され、その反射ビームはレーザ干渉計33に戻り、参照ビームBSRの反射ビームと干渉して移動鏡MRWの反対側の底面位置、すなわちウエハWのX、Y方向の座標位置が、参照ミラーMLを基準として計測される。さて、本実施例においては、Zステージ82は3つのZアクチュエータ32A、32B(32Cは省略)を介してXYステージ34



上に取付けられ、Z方向とチルト方向とに移動可能となつてゐる。ただし、ZLステージ82は、その周辺の3ヶ所で板バネ84A、84B(84Cは省略)を紹介してXYステージ34と結合され、XYステージ34に対して水平方向(XY面内)の両性に極めて大きくなるように支持される。

[0046]そして本実施例でも、先の図5と同様のウエハチャック90がZLステージ82上に取り付けられるが、図5と異なる点は、ウエハチャック90の複数のZ方向の駆動機構88A、88Bによって比較的大きなストローク(10〜15mm程度)でZLステージ82に対してZ方向に移動する構成にしたことである。この駆動機構88A、88Bは、フォーカス・レベリングのためのZアクチュエータ32A、B、Cと同なり、ウエハチャック90とそのストロークの両端間で移動させるだけでよく、エア・シリンダやリンク機構等を使った簡単なエレベーション機構でよい。さらに図5の実施例では、先の図5に示したセンターアップピン83がXYステージ34上に上下動することなく固定されている。そして図6のようにウエハチャック90が最も上昇した状態で、ウエハハの表面が投影レンズ系PLの先端の光学素子の面から1〜2mm程度に設定され、センターアップピン83の先端面がウエハチャック90のウエハ載置面よりもわずかに下側(2〜3mm程度)に下がっている。

[0047]以上のような構成で、図6はウエハWに対して露光動作時の状態を表し、その露光動作が完了すると先の図4に示した液体LQの排出操作によってウエハチャック90の液体LQを一時的に排出する。その後、ウエハチャック90の真空吸着が解除されると、駆動機構88A、88Bを動作させてウエハチャック90を図6の位置から最も下にダウンさせる。これによってウエハWは3つのセンターアップピン83の先端面上に載せ替えられるとともに、ウエハチャック90の周辺に壁部LBの上端面が投影レンズ系PLの先端面(図3中ではレンズ素子L1の下面Pe、図5中では平行板Cの下面)よりも低くなるように位置決めされる。その状態でXYステージ34をウエハ交換位置まで移動させると、ウエハWは投影レンズ系PLの直下から引き出されて、搬送用のアーム95の方に移動する。このときアーム95は、ウエハチャック90の壁部LBの上端面よりは高く、且つセンターアップピン83の上のウエハよりは低くなるような高さに設定された状態で、ウエハWの下側に入り込め、それからアーム90はウエハWを上方向に持ち上げつつ真空吸着を行い、所定のアノード位置に向けてウエハWを搬送する。ウエハWの投入は、以上のシーケンスとは全く逆に行われる。[0048]ところで図6に示したように、レーザ干渉計33が参照ビームBSrを投影レンズ系PLの参照ミラーMLに投射するよう方式の場合、参照ビームBS

rの光路の直下に液体LQのプールが広がっているため、その液体LQの飽和蒸気の上昇によって参照ビームBSrの光路に障りを与えることが考えられる。そこで本実施例では、参照ビームBSrの光路と液体LQとの間にカバー板87を配置し、液体LQから上昇する蒸気流を遮断して参照ビームBSrの光路で発生する障りを防止する。

[0049]なお、カバー板87の上部空間には、参照ビームBSrの光路をより安定にするために、光路と交差する方向に温度調節された清浄な空気を送風してもよい。この場合、カバー板87は光路空間用の空気が直接液体LQに吹き付けられることを防止する機能も備えることになり、液体LQの不要な蒸発を低減させることができる。また、単なるカバー板87に代えて、参照ビームBSrの光路全体を遮風筒で覆う構成にしてもよい。

[0050] [第5の実施例の説明]次に本発明の第5の実施例を図7(A)、(B)を参照して説明する。本実施例は先の図1に示したホルダテールWの構成に、図5に示したセンターアップ機構(ピン83、Z駆動部85)を組み合わせたものであり、ウエハ交換を順次行うようにホルダテールWを改良したものである。そして図7(B)はその改良されたホルダテールWの断面を表し、図7(A)は図7(B)中の7A矢印の断面を表す。その図7(A)、(B)から分かるように、ホルダテールWは、XYステージ34上に3つのアクチュエータ32A、32C(32Bは省略)を介して保持され、ホルダテールWの中央付近には3つの貫通孔91が設けられている。この貫通孔91には、駆動部85によって上下動するセンターアップピン83が通る。[0051]先に説明したように、投影レンズ系PLの最下端面の高さは、そのままでは補助プレート部HS(ウエハW)の表面から2mm程度しか離れていない。さらにホルダテールWの周辺に設けられた壁部LBの上端は投影レンズ系PLの最下端面よりも高い。従って、ウエハ交換のためにそのままXYステージ34を移動させて投影レンズ系PLの直下からウエハを引き出すように構成した場合、補助プレート部HSの一部の幅が投影レンズ系PLの壁部の直徑寸法に必要となり、液体LQが注入されるホルダテールWの内容積を大きくすることになる。

[0052]そして本実施例では、図7に示すようにホルダテールWの壁部LBの一部を切り欠いて、そこに開閉自在な液密ドア部DBを設けた。この液密ドア部DBは、液体LQが注入されている間は常に図7(A)、(B)のように壁部LBの切り欠き部を液密状態で閉じており、液体LQがホルダテールW上から排出されると、図7(A)中の液線ののりにより閉じられている。その液密ドア部DBは、開いた状態では補助プレート部HSの表面の高さよりも若干低くなるよ

うに設定されている。また液密ドア部DBの内壁と接するホルダテールW本体部の壁部分(壁部LBの切り欠き部等)には、図7(B)のように液密性を確保するオリングOLが適宜の位置に設けられている。

[0053]以上のような構成において、ホルダテールW上のウエハを交換する場合は、まずホルダテールW内の液体LQを排出してから、液密ドア部DBを開く。その後、XYステージ34を図7中右側に移動させる。このとき、ウエハは投影レンズ系PLの直下から引き出されることとなる。このとき、投影レンズ系PLは図7に示した液密ドア部DBの上方空間に位置する。それからセンターアップピン83を上昇させてウエハを壁部LBよりも高く持ち上げれば、ウエハは容易に交換することができ。

[0054]本実施例によれば、ホルダテールWの周囲を取り囲む壁部LBの直徑を最小にすることが可能となり、ホルダテールW内に満たされる液体LQの量を最小限に抑えることが可能となり、液体LQの温度管理が容易になるだけでなく、液体LQの注入排出時にも最小になるといった利点がある。なお、前記第4の実施例の構成のときとは、ウエハチャックが下降するか特に液密ドア部を取付ける必要はないが、第4の実施例の構成において、なおも液密ドア部を設けても良い。

[0055] [第6の実施例の説明]次に図8は本発明の第6の実施例を示し、この実施例では下部容器7と上部容器8を用いて、ウエハ3を搬送するウエハホルダー3aは下部容器7の内面底部に形成されており、下部容器7の上

面は上部容器8の底面によって密閉されており、下部容器7の全容積は液体7aによって完全に満たされている。他方上部容器8にも液体8aが満たされており、その液体8a内に投影光学系1の最終レンズ面1aが浸されている。

[0056]下部容器7内の液体7aの一部分は、下部容器7の側面に設けた排出口5より温度調節部6に導かれ、温度調節部6において温度調節を受けた後、下部容器7の側面に設けた注入口4より下部容器7に戻るよう循環している。下部容器7内の傾斜箇所には温度センサー(図示せず)が取り付けられており、温度調節部6は温度センサーからの出力に基づいて、下部容器7内の液体7aの温度を一定となるように制御している。また上部容器8の温度8aについても、同様の温度調節機構が設けられている。

[0057]この実施例においては、下部容器7と上部容器8を一体として移動することにより、ウエハ3を移動している。他方、ウエハ3を収容した下部容器内の液体は実質的に密閉されているから、温度安定性の点で有利であるだけでなく、液線ののり等による圧力分布も発生しない。すなわち液線ののり等による圧力分布の障らざとなり結露面収差悪化の原因となるが、この

第6の実施例において圧力分布が問題になるのは、上部容器8に満たされた液体8aのみで、この部分の光路に、充たれ短く形成することにより、ウエハ移動時の浸液液線の影響を適用上問題にならないレベルまで緩和することが出来る。

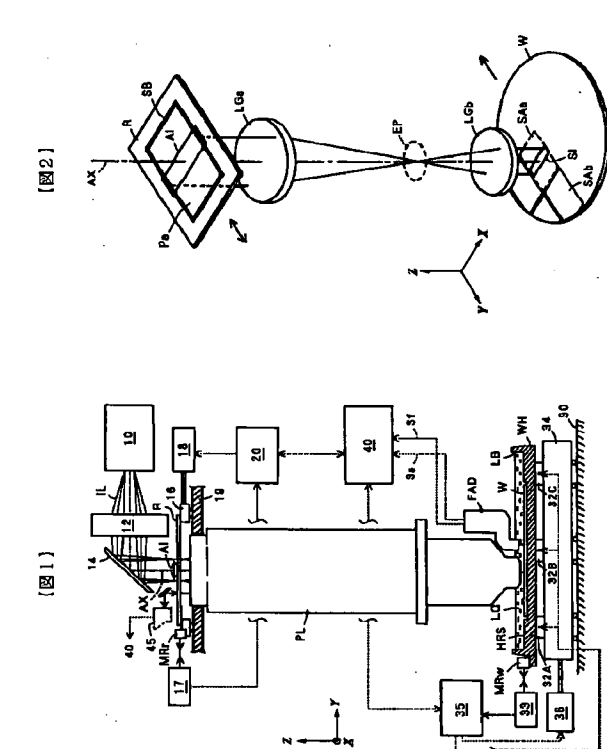
[0058]なお本実施例では下部容器7と上部容器8を一体として移動したが、下部容器7のみを移動し、上部容器8を固定することもできる。この構成のときには、上部容器8内の液体8aは完全に静止することになる。したがってワーキングディスタンスPLのうちで、上部容器8内の液体8aの厚さより、下部容器7内の液体7aの厚さより、Lの方を十分に薄く形成することが出来る。

[その他の変形例の説明]以上、本発明の各実施例を説明したが、先の図1に示したように液密投影露光装置のワーキングディスタンスは1〜2mm程度と極めて小さいため、ウエハWに対する焦点合せはオフ・アクシス方式のフォーカス・アライメントセンサFADを扱う方式とした。しかしながら、例えば米国特許4,801,877号、米国特許4,383,757号等に開示されているように、投影レンズ系PLの投影視野内の周辺部を介してフォーカス検出用のビームをウエハ上に投射してウエハ表面の高さ位置又は傾きを計測するITL(スループレンズ)方式のフォーカス検出機構を設けてもよい。

[0060]また、図1に示したフォーカス・アライメントセンサFADは、オフ・アクシス方式でウエハW上のアライメントマークを光学的に検出するものとしたが、このアライメントセンサもレチクルRと投影レンズ系PLとを通してウエハW上のマークを検出する図1中のITLアライメントセンサ45の他に、投影レンズ系PLのみを通してウエハW上のマークを検出するITL方式のアライメントセンサとしてもよい。さらに本発明は、紫外線域(波長400nm以下)のものとで投影露光する投影光学系を備えていれば、どのような構成の露光装置であっても全く同様に適用し得る。

[0061] [発明の効果]以上のように本発明により、実現可能な温度コントロールの範囲内で、充分な結露性能が保証された液型の露光装置が提供された。また、液型露光装置におけるウエハのローディングとアンローディングに適したウエハステージの構造も提供された。

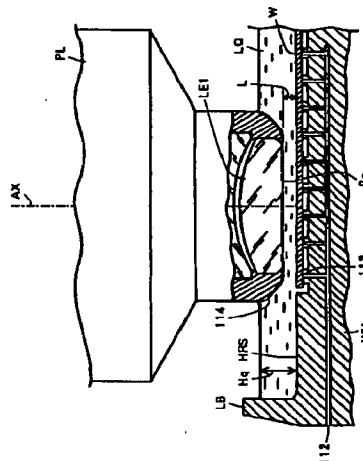
[図面の簡単な説明] [図1]本発明の第1の実施例による液型の露光装置の全体的な構成を示す図である。 [図2]走査露光のシーケンスを模式的に説明するための斜視図である。 [図3]図1中の投影レンズ系付近の詳細な構成を示す部分断面図である。



【図1】

【図2】

【図3】



- 【図4】本発明の第2の実施例による液体の温度制御と液体供給システムとを模式的に示すブロック図である。  
【図5】本発明の第3の実施例によるウエハホルダーと投影レンズ系付近の構造を示す部分断面図である。  
【図6】本発明の第4の実施例によるウエハホルダーと投影レンズ系付近の構造を示す部分断面図である。  
【図7】本発明の第5の実施例によるホルダーの構造を示す (A) 断面図と、(B) 平面図である。  
【図8】本発明の第6の実施例の要部を示す断面図である。
- 19
- 【符号の説明】
- 1...投影光学系  
7、8...容器  
3...ウエハ  
4...出入口  
6...温度調節器  
10...照明系  
14...ミラー  
17...レーザー干渉計システム  
19...コラム構造体  
30...ベース定盤  
2C...アクチュエータ  
33...レーザー干渉計システム  
35...ウエハステージ制御器  
40...主制御器  
51...導引パイプ  
53...パイプ路
- 20
- 1a...最終レンズ面  
7a、8a...液体  
3a...ウエハホルダー  
5...出入口  
L...ワーキングディスタンス  
12...コンデンサ  
16...レチクルステージ  
18...モーター  
20...レチクルステージ制御器  
32A、32B、3...部  
34...XYステージ  
36...駆動モーター  
50A、50B...温度調整器  
52...通路  
53A、53B...通
- 20
- 60...制御器  
64...液体供給ユニット  
64A...ポンプ  
80...サブ制御器  
83...センタースタップ  
85...上下駆動機構  
88A、88B...駆動機構  
91...貫通孔  
112...配管  
114...外周内部照明領域  
Pa...回路パターン  
PL...投影レンズ系  
LGA...前群レンズ  
Ep...射出面  
Pe...下面  
W...ウエハ  
SI...投影像  
LB...壁部  
HRS...補助プレート  
OL...オリング  
DB...液密フア部  
FAD...フォーカス・アライメントセンサー  
MRr、MRw...移動鏡  
BSr...参照用ビーム  
Sa...アライメント信号
- 20
- 11...排出口  
12...コンデンサ  
16...レチクルステージ  
18...モーター  
20...レチクルステージ制御器  
32A、32B、3...部  
34...XYステージ  
36...駆動モーター  
50A、50B...温度調整器  
52...通路  
53A、53B...通
- 20
- 60...制御器  
64...液体供給ユニット  
64A...ポンプ  
80...サブ制御器  
83...センタースタップ  
85...上下駆動機構  
88A、88B...駆動機構  
91...貫通孔  
112...配管  
114...外周内部照明領域  
Pa...回路パターン  
PL...投影レンズ系  
LGA...前群レンズ  
Ep...射出面  
Pe...下面  
W...ウエハ  
SI...投影像  
LB...壁部  
HRS...補助プレート  
OL...オリング  
DB...液密フア部  
FAD...フォーカス・アライメントセンサー  
MRr、MRw...移動鏡  
BSr...参照用ビーム  
Sa...アライメント信号

【図4】

【図8】

